

건설프로젝트의 작업유형별 3차원 작업공간 생성 및 간섭 최적화 방안

김현승* · 문현석** · 김창학*** · 강인석****

Kim, HyeonSeung*, Moon, HyounSeok**, Kim, ChangHak***, Kang, LeenSeok****

Workspace Generation and Interference Optimization Algorithm by Work-type using 3D Model Object in a Construction Project

ABSTRACT

The increase of input resources, such as labor and equipment, in a construction project causes workspace interference between activities and it influences on the productivity and quality of construction activities. To solve this problem, many studies related to the workspace interference have been performed, however they verified the workspace concerning with only the geometric location of activities or generated the shape of workspace by a whole object concept not separated units of detailed operations. It is difficult for project manager to reasonably analyze the workspace conflict, because the size of workspace cannot reflect the characteristics of an activity and input time of a resource. This paper presents a methodology that can generate three-dimensional models in order to optimize the workspace shape and size by considering with the characteristics of each activity and input time of each resource. The suggested method can be used for the active BIM system that optimizes the workspace conflict without additional construction duration and for the searching algorithm of optimized moving path for construction equipment.

Key words : Bounding volume, AABB, OBB, K-DOP, Workspace

초 록

건설공사 프로젝트에서 인력 및 장비 등의 투입자원 증가는 공정간의 작업공간 간섭을 유발할 뿐만 아니라 프로젝트의 생산성과 품질에 영향을 미칠 수 있다. 이를 해결하기 위해 작업공간관련 연구가 수행되고 있으나, 단순히 공정들의 기하학적 위치만을 고려하여 작업공간을 검증하거나, 작업공간의 형상을 세부 작업별 분리된 형상이 아닌 일괄적 하나의 객체 형태로 생성하고 있다. 이러한 방식은 공정의 특성과 자원의 투입 시간에 따라 변화하는 작업공간의 크기를 반영하지 못하므로 합리적인 작업공간 충돌의 분석이 어렵게 된다. 이를 위해 본 연구에서는 공정과 자원의 특성에 적합한 작업공간의 형상과 크기를 생성할 수 있도록 작업공간의 3차원 모델 생성방법과 운용 시스템을 개발한다. 또한 이를 적용한 작업공간 간섭최적화 연계방안과 건설장비의 최적 이동경로 탐색 방법론을 개발하여 실무적 활용성을 검증한다.

검색어 : Bounding volume, AABB, OBB, K-DOP, 작업공간

* 경상대학교 토목공학과 박사과정 (Gyeongsang National University · wjdchs2003@gmail.com)

** 정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원, 공학박사 (Korea Institute of Construction Technology · hsmoon@kict.re.kr)

*** 정회원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Gyeongnam National University of Science and Technology · ch-kim@jinju.ac.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 경상대학교 토목공학과 교수, 공학연구원 (Corresponding Author · Gyeongsang National University · lskang@gnu.kr)

Received July 23, 2014/ revised August 26, 2014/ accepted October 6, 2014

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설프로젝트는 대형화 및 전문화되면서 단위공정이 점차 복잡해지고 있다. 이러한 환경에서 다수의 공종이 동시에 진행될 경우, 제한된 작업공간에 투입될 작업자, 장비 및 자재들의 수량은 더욱 증가하게 된다. 이와 같이 제한된 작업공간에 투입되는 자원이 많을수록 상호간의 간섭이 자주 발생하게 되며, 이는 프로젝트의 생산성 및 품질에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 효율적인 작업공간의 계획은 프로젝트의 성공을 좌우하는 중요한 관리요소가 된다(Choi et al., 2013).

이러한 문제를 해결하기 위해 최근 연구에서는 수학적 모델을 활용하여 작업공간 간섭 정도를 수치적으로 정량화하고, 이를 시각화하기 위한 BIM 기술의 도입이 증가하는 추세에 있다. 그러나 대다수 연구에서는 단순히 공정들의 기하학적 위치만을 고려하여 작업공간을 검증하거나, 작업공간의 형상을 일괄적으로 생성하고 있다. 이는 공정 및 투입 자원의 특성과 시간에 따라 변화하는 작업공간의 크기를 반영하지 못하므로 합리적인 작업공간의 분석이 어려운 실정이다(Moon et al., 2014). 이를 위해 본 연구에서는 공정과 자원의 특성에 적합한 작업공간의 형상과 크기를 생성할 수 있도록 작업공간의 3차원 모델 생성방법을 제시하며, 이를 기반으로 작업공간 간섭최적화가 가능한 BIM 시스템을 개발한다.

2. 이론적 고찰

2.1 국내외 연구동향

건설공사 작업공간 간섭관리관련 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.

Seo (2010)는 BIM기반으로 작업공간 간섭체크 프로세스를 구축하고, 시공성 검토 효율화를 위한 협업체계를 구축하였고, Choi et al. (2013)는 4D BIM 기반의 체계적인 작업공간 계획 프로세스를 제안하였다. Kamat and Martinez (2005)는 3D 애니메이션 기술을 통해 건축공사의 작업물을 시뮬레이션하여 작업의 간섭 및 공간의 간섭을 감소하는 방안을 제시하였으며, Guo (2002)는 2차원 평면도 기반의 작업공간 중첩을 확인하고 이를 해결하기 위한 절차 및 인자들을 정의한 바 있다. Mallasi (2006)는 CSA (Critical Space-time Analysis)를 도입하여, 12가지 작업 수행 패턴 및 3가지의 작업물 분산도를 기반으로 작업공간 시뮬레이션 환경을 구축하였다. Hammad et al. (2007)는 복합 도형을 사용하여 장비 작업영역의 특징을 표현하고 작업공간의 충돌을 감지할 수 있는 프로토타입의 시스템을 개발하였다. 또한 I-Chen and Yen-

Chang (2010)은 공간간섭을 4가지 유형(설계 간섭, 안전간섭, 충격간섭 및 지연간섭)으로 구분하여 4D기반의 작업공간 검증 시스템을 개발하였고, Akinci et al. (2002)은 공정의 작업공간 분석을 위해 BIM기반으로 작업공간을 자동으로 생성하는 방법을 제시하였으며, Tantisevi and Akinci (2007)은 크레인과 같은 장비의 양중에 의한 붐의 회전반경을 3D bounding box 형상으로 구상하였다. Chavada et al. (2012)은 작업공간 간섭관련 문헌을 분석하였으며, 작업공간 간섭을 검증하고 이를 해결하는 방안을 제시하고 있다.

작업공간에 관한 기존 연구에서는 작업공간 계획을 위한 체계적인 운영프로세스를 제시하고, BIM, 4D 등의 IT환경에서 작업공간을 분석하여 계획하는 방법론들이 다수 수행되고 있다. 그러나 이들 연구에서는 작업공간 생성과정에 고려해야 할 일부 실무적 사항들이 부족한 것으로 파악되었으며, 특히 작업공간 생성 방식을 단일화하여 작업공간 형상을 일괄적으로 생성함으로써 작업공간 생성에 공정 및 자원의 특성을 반영하지 못한다는 문제점을 간과하고 있다. 따라서 본 연구에서는 공정별 작업유형과 투입자원의 특성을 고려하여 작업공간을 생성할 수 있도록 작업공간 모델 생성 방안을 보다 구체화하여 제시한다. 또한 이를 토대로 BIM기반으로 작업공간을 생성하고, 분석할 수 있도록 자원프로파일을 활용한 작업공간 최적화 방안을 제시한다.

2.2 Bounding Volume을 활용한 작업공간 생성

3차원 환경에서는 주로 공간의 충돌을 감지하기 위해서 객체를 감싸는 경계볼륨(Bounding Volume)을 생성하여, 각 경계볼륨들의 충돌을 확인하고 있다(Kim et al., 2014).

이러한 경계볼륨 방식은 Fig. 1과 같이 대표적으로 BS (Bounding Spheres), AABB (Axis-aligned Bounding Boxes), OBB (Oriented Bounding Boxes), K-DOP (Discrete Orientation Polytopes) 등이 있다(Yeo, 2002).

2.2.1 BS (Bounding Spheres)

BS 방식은 Fig. 2와 같이 객체를 감싸는 경계볼륨의 형태를 구 모양으로 생성하고, 두 구의 중심사이 거리와 구의 반지름의

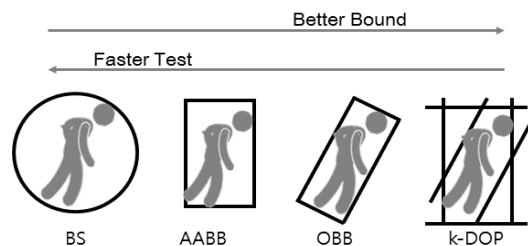


Fig. 1. Type of Bounding Volume

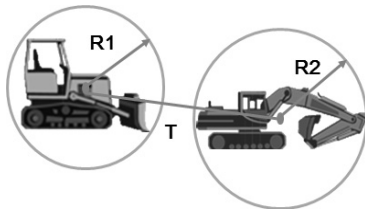


Fig. 2. Definition of BS

합을 비교함으로써 충돌여부를 파악할 수 있다.

이러한 BS 방식은 간단한 연산과정을 통해 충돌여부를 파악할 수 있으나, 객체의 형상이 가능한 구와 유사하지 않을 경우, 빈공간이 많이 생기게 되어 효율이 급격하게 떨어지게 된다.

2.2.2 AABB (Axis-aligned Bounding Boxes)

AABB 방식은 Fig. 1과 같이 X, Y, Z축에서 각 경계박스(Bounding Boxes)를 생성하고, 각각의 축에서 정의된 최소값 및 최대값을 비교함으로써 충돌여부를 파악할 수 있다. 이러한 방식은 충돌처리의 계산량이 적고, 직관적으로 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 객체가 회전할 때마다 경계상자를 갱신해 주어야하는 단점이 있다.

2.2.3 OBB (Oriented Bounding Boxes)

OBB 방식은 Fig. 1과 같이 경계상자가 고정된 좌표축을 갖지 않고 회전되는 객체에 따라 회전된 상태에서의 경계상자를 생성할 수 있다. 이를 통해 객체가 회전할 때마다 경계상자를 갱신할 필요가 없으며, AABB 방식보다 섬세한 경계상자를 생성할 수 있다.

2.2.4 K-DOP (Discrete Orientation Polytopes)

K-DOP 방식은 평행한 평면 사이에 있는 공간(Slab)들을 Bounding Volume으로 활용하며, 여기서 K는 면의 개수를 의미한다. 즉, OBB에서는 직육면체로만 근사화 할 수 있지만, K-DOP에서는

k가 증가함에 따라 객체 모양에 가깝게 근사화 할 수가 있다. 이러한 K-DOP방식은 OBB보다 객체에 더 밀착되어 표현되기 때문에 경계 공간의 빈틈이 적다.

3. 작업유형을 고려한 3차원 작업공간 생성방안

3.1 작업공간의 정의 및 유형분류

프로젝트에서의 작업공간이라 함은 구조물의 구축 과정에 직접적으로 요구되는 공간으로서, 세부 공종들의 자원 운용을 위해 요구되는 공간으로 정의할 수 있다. 즉, 구조물을 설치하기 위한 설치공간과 이러한 설치공간을 지원하기 위한 주변 작업공간이라 할 수 있다(Moon et al., 2010). 또한, 작업공간은 해당공정이 시작될 때 작업공간이 점차 생성되었다가 공정이 종료될 때는 작업공간의 형상이 소멸되는 특성을 가지게 된다. 이러한 작업공간의 특성을 반영하여, 공종별로 적합한 작업공간 모델을 구성하고 간섭타입을 결정하기 위해서는 무엇보다 현장에서 요구하는 작업공간 타입이 무엇인지 분류할 필요가 있다. 이러한 작업공간 분류체계를 구축하기 위해서 기 연구에서는 작업공간 관련 설문조사와 Table 1과 같이 문헌 분석을 통해 작업공간 타입을 분류하였다. 기 연구에서 분류한 작업공간 타입은 Table 1과 같이 건축공간 중심의 작업공간 영역을 세분화하여 Process 기반으로 1차적인 작업공간 타입을 분류하고, 중복되는 공간타입을 제거 및 통합하여 최종적으로 Table 2와 같이 작업공간 형태를 분류하였다(Moon et al., 2010).

Table 2와 같이 분류된 작업공간 타입에서 설치공간(Installation Space)은 현장 구조물의 설치에 직접 연관되는 작업들을 포함하는 공간이며, 조립공간(Fabrication Space)은 구조물의 설치를 지원하는 공간으로 사전 조립장 등을 포함한다.

이동공간(Transfer Space)은 자재뿐만 아니라 자원들의 이동경로를 포함하고, 적재공간>Loading Space)은 자재의 적재, 대기, 저장, 하역 등과 관련된 공간을 포함한다. 그리고 안전공간(Safety

Table 1. Workspace Type Classifications (Chavada et al., 2012)

Riley and Sanvido (1997)	Guo (2002)	Dawood and Mallasi (2006)	Wu and Chiu (2010)	Chua et al. (2010)
Layout area				
Unloading area				
Material area	Working space	Product space workspace	Path workspace	Process space
Storage area	(laborers, equipment)	Process space	Material workspace	Resource handling space
Personnel area	Storage space	Equipment space	Laborer workspace	Product space
Staging area	(materials)	Equipment path	Equipment workspace	Interdiction space
Prefabrication area	Waste space	Storage Path	Site layout workspace	Usable space
Debris area	Set-up space	Path space	Building component	Dead space
Hazard area	(Temp. facility space)	Protected space	workspace	
Protected area		Support space		
Work area				
Tool equipment area				

Table 2. Workspace Type (Moon et al., 2010)

Workspace Type	Definition
Installation Space	Installation space is directly related to the installation of construction structures
Fabrication Space	Fabrication space is prefabrication area for supporting the installation of construction structures
Transfer Space	Transfer space is related to the moving path of resources and materials
Loading Space	Loading space is related to the loading and unloading materials
Safety Space	Safety space is related to prevention of the accidents and damage

Space)은 작업수행의 안전을 위해 고려된 안전영역과 구조물의 손상 방지를 위해 필요한 공간을 포함한다.

3.2 작업유형별 작업공간 생성 방식선정

작업공간의 간섭은 동일한 일정에 진행되는 활동의 작업반경이 충돌되어 간섭이 발생하는 경우가 대부분이지만, 경우에 따라서는 작업 유형에 따라 발생하는 경우도 있다. 예로서, 조립이 진행되는 공간과 작업을 위한 자원의 이동공간이 충돌되는 경우이다. 이러한 경우에는 작업공간의 간섭 검증에 어려움이 발생하게 된다. 그 이유는 조립작업을 위해 필요한 작업공간에서는 크기 및 위치의 변화가 적지만, 장비 및 자재들의 이동을 위한 이동공간에서는 작업공간의 크기 및 위치 변화가 발생하기 때문이다. 만약 이러한 작업공간의 변화를 반영하지 않고 작업공간 간섭 분석을 수행할 경우에는 대형 사고를 유발할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 작업공간 유형에 적합한 작업공간 모델 생성 방식을 분류하였다.

작업공간 모델의 생성방식에는 앞서 언급한 경계볼륨방식 중에서 BS 방식을 제외한 AABB, OBB, K-DOP 방식을 활용한다. BS 방식은 객체와 작업공간간의 공간 오차가 높을 것으로 예상되어, 본 연구에서는 제외하였다. 3가지 작업모델 생성방식의 특징은 다음과 같다.

첫째, AABB 방식은 3가지 방식중에서 충돌 연산 속도가 가장 우수하고, 직관적인 작업공간 생성이 가능하다. 그러나 객체와 경계볼륨간의 형상 오차가 높을 경우, 정확한 충돌 검사가 어렵고, 객체가 회전할 때마다 경계상자를 갱신해주어야하는 단점이 있다. 따라서 객체가 정형화되어 있고, 회전하지 않으며 축과 나란히 위치하는 공정들의 작업공간 생성에 적합하다. 이러한 조건은 대다수 고정된 위치에서 작업하는 작업공간 타입들로 구조물 설치를 지원하는 조립공간, 자재의 적재, 대기, 저장, 하역 등과 관련된 공간을 포함하는 적재공간과 안전공간에 적합할 수 있다(Choi et al., 2013).

둘째, OBB 방식은 AABB방식보다 충돌 검사를 위한 연산과정이 복잡하므로, 더 많은 시간이 소요되나, AABB방식과 달리 객체의 회전 시에 재계산이 필요치 않다. 따라서 AABB에 비해 더 세밀하게 충돌을 파악할 수 있으며, 이는 가설장비와 같이, 작업의 위치와 방향을 변경하는 작업에 적합하다. 이와 같이 회전 및 방향의 변경에 효과적으로 대응할 수 있는 작업공간 생성 방식은 구조물 설치공간과 자재뿐만 아니라 자원들의 이동경로를 포함하고 있는 이동공간에 적합할 수 있다.

마지막, K-DOP 방식은 3가지 방식중에서 충돌 검사를 위한 시간 소모가 많으나, 객체에 더 밀착되어 표현되기 때문에 경계공간의 빈틈이 적다. 따라서 복합공정들 간의 작업공간 분석 및 제한적인 구간에서의 장비 이동과 운용 등, 정밀하고 높은 정확성을 필요로 하는 작업공간 검증 작업에 적합하다.

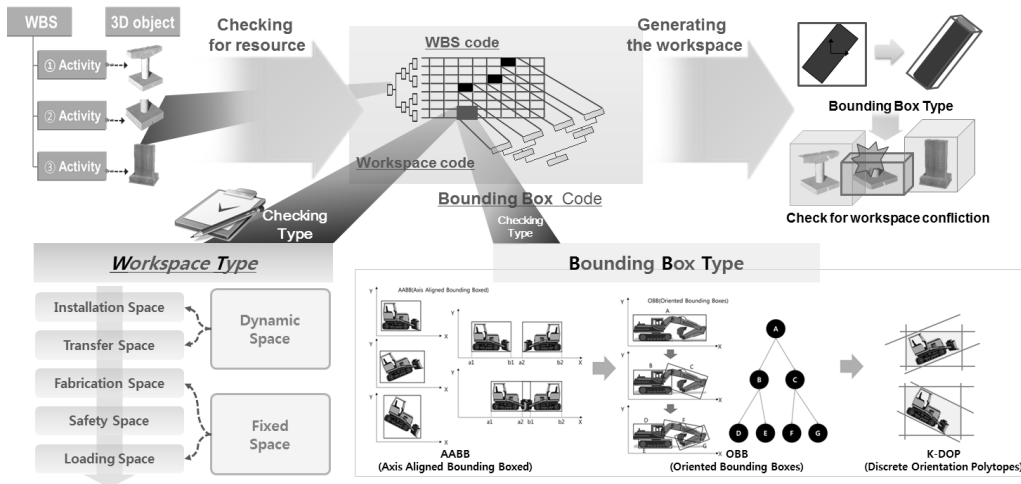


Fig. 3. Workspace Generation Model based on Workspace Type and Resource Profile

3.3 자원프로파일기반 작업공간 생성 방안

공종별로 작업유형을 파악하기 위해서는 해당공정의 작업환경과 관련된 정보들의 확보가 중요하며, 이러한 정보들은 작업공간의 크기 및 이동경로 등을 파악하기 위한 위치정보와 기하학적정보뿐만 아니라 투입자원, 작업공간 타입 등의 속성정보들이 포함될 수 있다. 이와 같은 정보들은 Fig. 3과 같이 공정별 자원프로파일과 연계함으로써 작업공간 모델의 생성방식을 결정과정에 기여할 수 있다. 또한, 이러한 정보들을 체계적이고 통합적으로 관리할 수 있게 WBS Code를 활용하였다.

자원프로파일에는 6가지 작업유형 정보를 포함하는 Workspace Code와 3가지 작업공간 모델 생성 방식을 포함하는 Bounding Box Code 정보로 구성되며, 이는 WBS Code 기준으로 연계된다. 따라서 사용자는 해당공종의 3D model과 저장된 Workspace code 및 Bounding Box Code를 참조하여, 작업모델 생성 방식을 결정한 후, 자동으로 작업공간 모델을 생성할 수 있다. 그리고 각 code체계를 기준으로 전체 또는 부분적으로 작업공간 정보들을 분류할 수 있으며, 이를 통해 일괄적으로 작업공간 생성방식을 지정할 수 있다.

4. BIM기반 능동형 작업공간 최적화 프로세스

본 절에서는 저자의 이전 연구(Moon et al., 2013; Moon et al., 2014)에서 개발한 능동형 작업공간 최적화 시스템에 추가적인 기능을 개발하였다. 그리고 개발 시스템에서는 작업유형별 작업공간 모델에 의한 작업공간 최적화 시물레이션과 건설장비의 최적 이동경로 탐색 시물레이션 구현을 통해 제시한 방법론의 활용성을 검증하였다.

4.1 작업유형을 고려한 작업공간 최적화 시물레이션

저자의 이전 연구에서 개발한 능동형 작업공간 최적화 시스템은 작업공간 간섭이 발생한 공정들을 분석하고, GA (Genetic Algorithm) 기반으로 작업공간 간섭이 최소화되는 일정계획을 시물레이션한다

(Kang et al., 2013).

먼저, 공종별 작업유형에 적합한 작업공간 모델을 생성하기 위해서는 Fig. 4와 같이 각 공정들의 BIM모델로부터 자원프로파일 정보를 제공받아 해당공정의 위치, 기하학 형태, 투입자원의 종류, 작업공간 타입 등을 파악한다. 그리고 작업의 안정성 및 정확성 등을 고려하여 작업공간 생성방식을 선정한다. 이와 같이 작업공간 모델의 생성방식 정보를 추가하면, 작업모델의 생성방식에 따라 해당 공정의 작업공간 형상이 결정된다.

작업공간의 형상이 결정된 후, 안전거리 등의 사용자 입력 정보에 따라 작업공간이 Fig. 4와 같이 생성된다. 이와 같이 생성된 작업공간은 시각적으로 구현되어 작업공간의 형상을 파악할 수 있으며, 작업공간 생성방식을 변경하거나 작업공간 위치 및 크기를 조절할 수 있다.

Fig. 4의 하단은 크레인과 교량상판을 각각 OBB방식과 AABB 방식으로 작업공간을 생성한 것이다. 특히, OBB으로 생성된 작업공간모델은 크레인의 방향 전환에 따라 해당 작업공간모델도 동일하게 방향을 전환함으로써 작업공간 검증과정을 간소화할 수 있다.

공종별 작업공간 모델의 생성이 완료되면, 이를 기반으로 작업공간 간섭을 수행한다. 작업공간 간섭 방법은 기존 연구에서 제시한 바와 같이 동일한 기간에 수행되는 공정들을 도출하여, 이들 간의 일정중첩 및 작업공간 간섭을 검증한다. 그리고 최적화알고리즘을 통해 작업공간 간섭이 최소화된 일정을 도출하고, 이를 시물레이션으로 구현한다. 이러한 최적화 시물레이션을 구현하는 과정은 Fig. 4의 우측과 같으며, 계획일정과 최적화된 일정을 비교할 수 있게 동시적인 시물레이션으로 나타내고 있다. 이는 계획일정에서 작업공간 간섭이 발생하고 있음을 의미하는 적색이 최적화 과정을 통해 상당부분이 청색으로 변경되어 간섭이 해소된 것을 시각적으로 파악할 수 있다.

4.2 작업공간을 고려한 장비의 최적 이동경로 탐색

건설현장에는 다양한 종류의 건설장비가 투입되어 작업을 진행

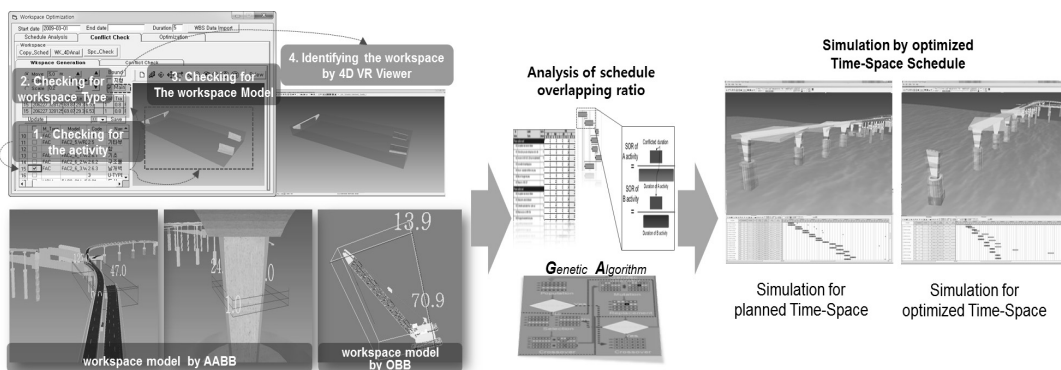


Fig. 4. Optimized Workspace Simulation by Project Schedule

하기 때문에 장비들간 간섭과 주변 공정들과의 간섭이 발생하게 된다. 특히, 일반적으로 시공 장비계획은 장비 전문업체가 기본적인 위치와 용량을 계획하고, 시공사와 협의하는 형태로 추진되고 있지만, 현장과 장비에 대한 정확한 정보가 부족하여 실질적인 현장에 적용 가능한 장비계획을 수립하는데 한계가 많다(Jang et al., 2008).

이에 본 연구에서는 자원프로파일 정보와 작업모델 생성 방안을 적용하여, 장비의 최적 이동경로를 탐색할 수 있는 방법론 및 시스템을 제시한다.

4.2.1 작업공간을 고려한 장비 최적 이동경로의 탐색 방법론

실무에 적합한 건설장비 투입계획을 수립하기 위해서는 우선, 투입될 중장비의 종류 및 성능 그리고 특성이 잘 반영될 수 있도록 장비의 작업공간이나 이동공간의 크기를 설정하는 것이 필요하다. Table 3은 일반적인 중장비로써 크레인, 백호, 불도저 및 덤프트럭의 대략적인 제원을 나타내고 있다. 이러한 중장비의 외형적인 치수는 출발 지점에서 목표 지점까지 장비와 장애물들과의 충돌 여부를 검토할 수 있는 이동공간의 크기로 사용될 수 있지만, 장비의 작업공간 크기 설정을 위해서는 추가적인 장비의 작업 반경 정보가 필요하다. 즉, 크레인의 경우, 붐 길이에 따라 선회반경이 다르고, 백호는 용량에 따라 굴착반경이 다르므로, 정확한 장비종류별 작업 반경 정보를 기반으로 장비의 작업 공간 크기를 설정해야 하며, 또한 안전사고를 최소화할 수 있도록 작업환경에 속해있는 모든 요인에 대한 안전공간도 고려되어야 한다. 따라서 이러한 정보들은 자원프로파일에 포함하여, 장비의 작업공간의 크기 및 형상을 결정하기 위한 기초자료로 제공되어야 한다.

Fig. 5와 같이 장비 이동공간의 크기나 작업공간의 크기가 설정되면, 장비가 이동할 경로를 3차원 지형모델 상에서 직접 설정한다.

3차원 지형모델은 실제 현장의 위치정보로 구축되어 있으므로, 실제 좌표를 확인하면서 장비의 이동경로를 설정할 수 있다. 또한, 사용자가 이동경로의 포인트를 넓게 설정하더라도, 실제 장비의 간섭분석 과정에서는 포인트 좌표간의 간격을 자동으로 세분화함으로써 단위 간격별로 좌표를 도출할 수 있게 하였다. 이를 통해 세분화된 간격별로 장비를 위치시켜, 간섭여부를 판단함으로써, 사용자의 편리성과 간섭 정도의 정확성을 높였다.

장비의 이동경로 설정이 완료되면, 분석대상을 설정한다. 분석대상은 4D모델 상에서 사용자가 직접 분석할 대상 모델을 선택하거나,

Table 3. Standard Size of Construction Equipment

Type of equipment	Division	Size(mm)
Crane	Volume(ton)	length * height * crawler length
	100	3400 * 7500 * 7790
	150	3400 * 7810 * 8155
	200	3400 * 8840 * 8560
Backhoe Shovel	Bucket Volume(m ³)	length * width * height(mm)
	02	5870 * 1880 * 2580
	06	7035 * 2590 * 2920
	08	8985 * 2990 * 3040
Bulldozer	Working Weight(kg)	length * width * height(mm)
	25150	5760 * 2620 * 3510
	37500	6250 * 2780 * 3490
Dump Truck	Volume(ton)	length * width * height(mm)
	15	7695 * 2495 * 3030
	25.5	8535 * 2495 * 3235

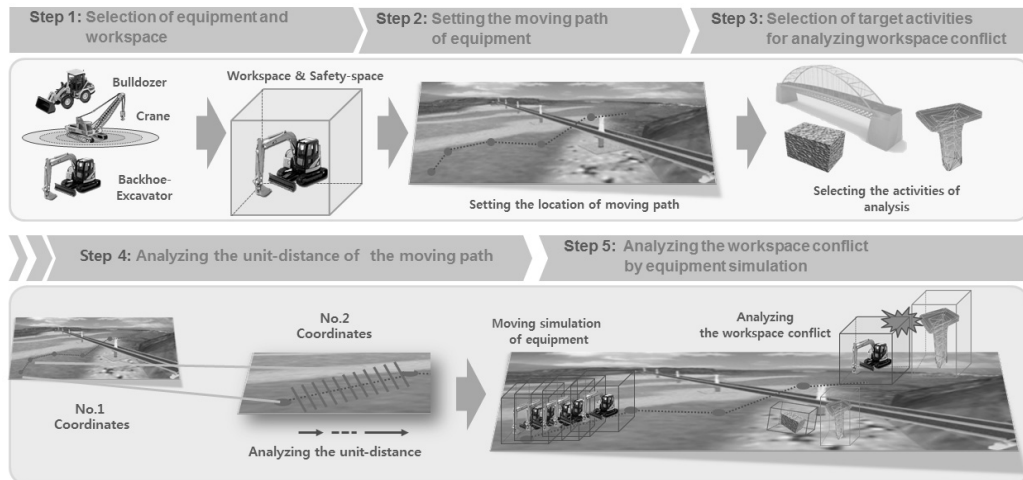


Fig. 5. Method of Selecting the Optimal Moving Path for Construction Equipment

- (2) 합리적인 작업공간 계획을 수립하기 위해서는 공종별 작업환경과 관련된 정보들의 확보가 중요하므로, 공종별 작업유형 판단을 위한 정보를 제공할 수 있게 BIM모델과 연계된 자원프로파일의 활용방안을 제시하였다.
- (3) 또한, 자원프로파일기반으로 작업공간 생성 방안을 제시하였으며, 이를 기존 연구에서 개발된 능동형 시스템에 추가기능으로 개발하고, 사례 적용함으로써 작업공간 간섭 최적화 시스템의 적용성을 검토하였다.
- (4) 특히, 장비의 최적 이동경로를 탐색할 수 있는 방법론과 시스템을 개발하여, 교량공사 사례에 적용함으로써 프로젝트의 장비 투입 및 이동계획 수립을 위한 의사결정 도구로 활용성을 검토하였다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0016064).

References

- Akinci, B., Fischer, M. and Kunz, J. (2002). "Automated generation of work space required by construction activities." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 128, No. 4, pp. 306-315.
- An, S. H., Kim, J. H. and Kang, K. I. (2006). "A study on the measures for work interference reduction in apartment construction." *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, Vol. 6, No. 1, pp. 117-122.
- Chavada, R., Dawood, N. and Kassem, M. (2012). "Construction workspace management: The Development and Application of a Novel nD Planning Approach and Tool." *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 17, pp. 213-236.
- Choi, B. J., Lee, H. S., Park, M. S., Kim, H. S. and Hwang, S. J. (2013). "4D BIM based workspace planning process in building construction project." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 14, No. 5, pp. 175-187.
- Chua, D., Yeoh, K. and Song, Y. (2010). "Quantification of spatial temporal congestion in Four-dimensional computer-aided design." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 130, pp. 598-606.
- Guo, S. J. (2002). "Identification and resolution of workspace conflicts in building construction." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 128, No. 4, pp. 287-295.
- Hammad, A., Zhang, C., Mohamed, A. H. and Cardianl, G. (2007). "Equipment workspace analysis in infrastructure projects." *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 34, No. 10, pp. 1247-1256.
- I-Chen, W. and Yen-Chang, C. (2010). "4D workspace conflict detection and analysis system." *Proceedings of 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, Japan.
- Jang, S. J., Jeon, H. J., Shim, T. B., Eom, S. J., Yun, S. H. and Paek, J. H. (2008). "A study on the tower-crane equipment planning support system in the BIM environment." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 7, pp. 109-116.
- Kamat, V. and Martinez, J. (2005). "Dynamic 3D visualization of articulated construction equipment." *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 19, No. 4, pp. 356-368.
- Kang, L. S., Moon, H. S., Kim, H. S. and Kwak, J. M. (2013). "Usability improvement of BIM for construction projects using active BIM functions." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 14, No. 5, pp. 74-83.
- Kim, H. S., Cho, B. N., Yun, S. Y., Kim, Y. H., Moon, H. S. and Kang, L. S. (2014). "A study on 3D modling and optimization of workspace considering work type in construction projects." *Proceedings of KIBIM Annual Conference 2014*, KIBIM, KOFST, Vol. 4, No. 1, pp. 25-26
- Mallasi, Z. (2006). "Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilising 4D visualisation." *Automation in Construction*, Vol. 15, No. 5, pp. 640-655.
- Moon, H. S., Dawood, N. and Kang, L. S. (2014). "Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule." *Advanced Engineering Informatics* 28, pp. 50-65.
- Moon, H. S., Kang, L. S. and Dawood, N. (2010). "Development of a workspace conflict verification model for temporary facilities based on a VR simulation." *Proceedings of The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, University of Nottingham, UK.
- Moon, H. S., Kim, H. S., Kang, L. S. and Kim, B. S. (2013). "A simulation model for deciding an optimized 3D shape of construction workspace considering resources in BIM environment." *Proceedings of 15th International Conference on Construction Engineering and Project Management (ICCEPM-2013)*
- Riley, D. and Sanvido, V. (1997). "Space planning method for multi-story building construction." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 2, pp. 171-180.
- Seo, J. H. (2012). *A collaborative process of BIM-based clash detection for the constructability review*, Master Thesis, Hanyang University.
- Song, D. H., Lee, S. B. and Song, H. S. (2011). "A study on the secure method of construction workspace by using building information modeling." *Proceeding of the KIC*, Vol. 11, No. 2, pp. 9-10.
- Tantisevi, K. and Akinci, B. (2007). "Automated generation of workspace requirements of mobile crane operations to support conflict detection." *Automation in Construction*, Vol. 16, No. 3, pp. 262-276.
- Yeo, E. S. (2002). *Efficient real-time collision detection method using sampling tree*, Master Thesis, Sungkyunkwan University.